Journal of Agroecology
Vol. 12, No.4, Winter 2021, p. 635-650

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص ۶۵۰-۶۳۵

مقاله علمی - پژوهشی

اثر تراکم بوته و نیتروژن بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد، اجزای عملکرد و عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

عبداله ملافیلابی[1]* و حسین مودی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۶

ملافیلابی، ع.، و مودی، ح.، ۱۳۹۹. اثر تراکم بوته و نیتروژن بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد، اجزای عملکرد و عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۶۵۰-۶۳۵.

چکیده

این آزمایش با هدف بررسی اثر تراکم بوته و اثر میزان مصرف نیتروژن بر شاخص‌های رشدی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه و بیولوژیک گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و با چهار تکرار اجرا شد. تیمارها شامل چهار سطح تراکم بوته (۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ بوته در مترمربع) و چهار سطح نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع کود اوره) بودند. صفات مورد مطالعه شامل شاخص سطح برگ (LAI) ، میزان تجمع ماده خشک (DM)، سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR)، ارتفاع بوته، اجزای عملکرد (شامل تعداد شاخه گل‌دهنده در گیاه، تعداد فولیکول در گیاه، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه)، عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش و عملکرد بیولوژیک بودند. نتایج نشان داد که شاخص سطح برگ و میزان تجمع ماده خشک تا مرحله گل‌دهی افزایش یافته و بعد از آن به‌علت پژمردگی برگ‌های پایینی و ریزش برگ‌ها کاهش یافت. همچنین در آغاز فصل رشد سرعت رشد گیاه پایین بوده و پس از آن شدت یافت و در مرحله گل‌دهی به حداکثر میزان خود رسید. با افزایش تراکم تعداد شاخه جانبی به‌طور خطی کاهش یافت. بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۸۹۵/۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد دانه از عدم کاربرد نیتروژن با (۵۸۹/۹ کیلوگرم دانه در هکتار) به‌دست آمد. عملکرد بیولوژیک دارای همبستگی بالایی با عملکرد کاه و کلش (r^2=0.99) و عملکرد دانه (r^2=0.97) بود. به‌طور کلی، نیتروژن نقش اساسی در ساختمان کلروفیل و سنتز پروتئین‌ها دارد و افزایش آن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، موجب بهبود رشد و عملکرد گردید. همچنین افزایش شاخه‌دهی گیاه سیاهدانه در تراکم‌های پایین، منجر به جبران کمبود تعداد گیاه در تراکم‌های پایین شد و عملکرد را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: تعداد فولیکول در گیاه، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش

مقدمه

با توجه به اثرات سوء ناشی از مصرف داروهای شیمیایی در سال‌های اخیر توجه زیادی به کشت گیاهان دارویی شده است که مصرف آن‌ها نیازمند توسعه کشت، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح می‌باشد (Mosavi et al., 2012; Morteza et al., 2010; Babayan et al., 1978). گیاهان دارویی از جمله منابع ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران هستند که شناخت و کشت و تولید علمی آن‌ها می‌تواند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و جلوگیری از کاهش تنوع زیستی به‌واسطه برداشت غیراصولی این گونه‌ها از رویشگاه‌های طبیعی داشته باشند (Mosavi et al., 2012). از نگاهی دیگر و از نقطه نظر اقتصادی، توجه به توسعه تولیداتی

۱- استادیار گروه زیست‌فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.
۲- کارشناس ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: a.filabi@rifst.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i4.75617

همچون گیاهان دارویی ضمن بهبود وضعیت داخلی، سبب افزایش صادرات غیرنفتی و در نتیجه، کاهش اتکا به درآمدهای نفتی می‌شود (Morteza et al., 2010). همانند دیگر گیاهان، شاخص‌های رشدی گیاهان دارویی نیز تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی است که در این میان، اگرچه مواد مؤثره و ترکیب ذخیره این گیاهان بیشتر به‌صورت ژنتیکی کنترل می‌شود، امّا همانند عملکرد کمی، تحت تأثیر شرایط محیطی، عناصر غذایی و سایر فاکتورهای زراعی قرار می‌گیرد (Hamisi et al., 2012).

در بین گیاهان دارویی، سیاهدانه با نام علمی *Nigella sativa* L. که در عربی به آن شونیز و کمون اسود اطلاق می‌گردد (Fillippo et al., 2002)، گیاهی با ارزش، دو لپه، علفی، یک‌ساله و متعلق به خانواده آلاله[1] است (Fillippo et al., 2002). برای دانه‌های این گیاه خصوصیاتی مانند شیرآور، ضدنفخ، مسهل و ضدانگل قائل هستند (Fillippo et al., 2002). در سال‌های اخیر دانه‌های سیاهدانه مورد تحقیقات وسیع فارماکولوژیک قرار گرفته است. سیاهدانه دارای ترکیبات مؤثری به‌ویژه کوئینن[2] بوده و در درمان برخی بیماری‌ها مانند برونشیت، روماتیسم، فشار خون ، دیابت، آنفلوانزا و حتی ایدز (Mehta et al., 2009; Hussain et al., 2009; Erkan et al., 2008) و تغذیه انسان (Ramadan & Morsel, 2003) نقش دارد. این مطالعات دامنه وسیعی از اثرات ضدباکتری، ضدتومور، ضدالتهاب، مسکن، کاهنده قند خون و شل‌کننده عضلات صاف را نشان می‌دهد (Fillippo et al., 2002). تاکنون در کشورهای تولیدکننده این گیاه تحقیقات اندکی در زمینه به‌زراعی آن انجام شده است (Fillippo et al., 2002).

در کشور ما تحقیقات چندانی روی این گیاه صورت نگرفته و این گیاه با روش‌های سنتی کشت‌وکار می‌شود. از جمله موارد مهم تأثیرگذار بر عملکرد کمّی و کیفی گیاه، تأمین عناصر غذایی است که از جمله می‌توان به نیتروژن اشاره کرد (Hokmalipour & Seyedsharifi, 2014). نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی در تولید گیاهان زراعی است که مقدار آن در گیاهان بعد از کربن و هیدروژن بیش از سایر عناصر غذایی است (Babayan et al., 1978). غلظت بهینه نیتروژن بین ۵-۲ درصد وزن خشک گیاه بوده که بسته به نوع گیاه و مرحله رشد متفاوت است (Sharifi Ashoorabadi et al., 2004). نیتروژن در ساختمان سلول گیاهی به‌صورت پروتئین، اسیدهای نوکلئیک، اسیدهای آمینه، آنزیم‌ها و کلروفیل شرکت دارد، بنابراین نقش عمده‌ای در فتوسنتز عهده‌دار است (Babayan et al., 1978). رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2016) با بررسی اثر منابع آلی و غیرآلی نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه گزارش نمودند که اثر تیمارهای کود گاوی و نیز کود اوره در افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک سیاهدانه معنی‌دار بود. با این‌وجود، کود گاوی در مقایسه با کود اوره به‌طور معنی‌دار تأثیر بیشتری داشت. بر این اساس، این محققان نتیجه گرفتند با توجه به این‌که در راستای توسعه کشاورزی پایدار، استفاده از نهاده‌های طبیعی و زیستی به‌عنوان یک اصل شناخته می‌شود، در مناطق دارای خاک‌های آهکی، کاربرد کودهای آلی به‌همراه استفاده از کود بیولوژیک بیوسولفور می‌تواند در کاهش مشکلات ناشی از استفاده زیاد از کودهای شیمیایی مفید باشد.

برای دستیابی به عملکرد اقتصادی بالا علاوه‌بر توجه به عناصر غذایی، استفاده بهینه از عوامل محیطی نظیر نور، آب و مواد غذایی از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین دلیل میزان تراکم یا تعداد بوته در واحد سطح باید در حد مطلوب باشد. در زراعت تک‌کشتی تراکم بهینه یکی از عوامل موفقیت در تولید می‌باشد (Babayan et al., 1987)، در گیاهان یک‌ساله دلیل اصلی کاهش عملکرد، رشد رویشی ضعیف و در نتیجه، سطح برگ کم در ابتدای فصل رشد می‌باشد و در این حالت، بیشتر تشعشع خورشیدی توسط زمین جذب شده و غیرقابل استفاده می‌ماند، بنابراین در چنین شرایطی افزایش تراکم گیاهان ممکن است به جذب بیشتر تشعشع خورشیدی به‌خصوص در مراحل اولیه رشد کمک نماید (Atta, 2003). با توجه به نقش مهم سیاهدانه در درمان بیماری‌های و صنایع غذایی و داروئی انجام تحقیقات به‌زراعی در این گیاه از ضروریات است. علاوه‌برآن تجزیه و تحلیل کمّی آنالیزهای رشدی گیاه، روشی مناسب برای توجیه و تفسیر واکنش‌های گیاه نسبت به شرایط محیطی مختلف می‌باشد که گیاه در طول حیات خود با آن‌ها مواجه است. لذا، بررسی شاخص‌های رشدی راهکاری مناسب برای شناخت بهتر از چگونگی انتقال مواد ساخته شده فتوسنتزی به اندام‌های مختلف و انباشت آن‌ها از طریق اندازه‌گیری ماده خشک تولید شده در طول فصل رشد و نمو می‌باشد (Seyed Sharifi & Nemati, 2014).

شناخت دقیق شاخص‌های مؤثر بر رشد و عملکرد و استفاده بهینه

1- Ranunculaceae
2- Quinone

از آن‌ها در زراعت سبب افزایش عملکرد بالقوه گیاهان می‌شود، شناخت و بررسی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد در تحلیل عوامل مؤثر بر عملکرد و اجزای عملکرد گونه‌های مختلف گیاهی از اهمیت نسبتاً بالایی برخوردار است و ثبات آن تعیین‌کننده مقدار ماده خشک تولیدی است که به نوبه خود معیاری از اجزای عملکرد می‌باشد. هدف از محاسبه اجزای رشد، تشریح چگونگی واکنش گیاه نسبت به شرایط محیطی است (Blackman, 1919). تجزیه شاخص‌های رشد راهکار باارزشی در تحلیل کمّی رشد و نمو گیاه و تولید محصولات به‌شمار می‌آید که برای اولین بار توسط بلاکمن (Blackman, 1919) پیشنهاد شد. عواملی که برای تعیین چگونگی رشد اجزای عملکرد استفاده می‌شود، شاخص‌های رشد نامیده شده و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (Blackman, 1919; Manaffee & Kloepper, 1994). برای تحلیل رشد، اندازه‌گیری دو شاخص سطح برگ و وزن خشک الزامی است و سایر شاخص‌های رشد از طریق محاسبه تعیین خواهد شد (Blackman, 1919).

با عنایت به مطالب فوق هدف از این تحقیق ارزیابی اثر تراکم بوته و اثر میزان مصرف نیتروژن بر شاخص‌های رشدی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه و بیولوژیک گیاه دارویی سیاهدانه در شرایط آب‌وهوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور در چهار سطح و با چهار تکرار طراحی و اجرا شد. تیمارها شامل چهار سطح تراکم بوته (۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ بوته در مترمربع) و چهار سطح نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع کود اوره) بود.

شخم پائیزه هم‌زمان با عملیات تکمیلی تهیه زمین انجام گرفت و کرت‌هایی به ابعاد ۲/۴ متر در شش متر تهیه شد. جهت بهبود حاصلخیزی خاک ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل در زمین پخش گردید. نیمی از مقادیر کود در هنگام کاشت و بقیه پس از کاشت در مرحله ۶-۴ برگی مورد استفاده قرار گرفت.

هر کرت شامل شش ردیف کاشت و فاصله بین ردیف ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله روی ردیف برای تراکم‌های ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب ۴، ۲، ۱ و ۰/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین دو کرت ۸۰ سانتی‌متر منظور گردید. بذور پس از ضدعفونی با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام غلظت دو در هزار در عمق ۲-۱ سانتی‌متر کشت شد و پس از سه هفته عملیات واکاری و تنک برای رسیدن به تراکم مطلوب صورت گرفت. آبیاری هر ۱۰ روز یک‌بار و وجین علف‌های هرز دو مرتبه به‌صورت دستی انجام گرفت.

جهت انجام نمونه‌برداری، کرت‌ها در جهت طولی به دو قسمت مساوی تقسیم شدند، یک بخش جهت نمونه‌برداری تحلیل رشد و بخش دیگر برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد مورد استفاده قرار گرفت. شاخص‌های فیزیولوژیکی مورد مطالعه شامل شاخص سطح برگ (LAI)[1]، میزان تجمع ماده خشک (DM)[2]، سرعت رشد محصول (CGR)[3] و سرعت رشد نسبی (RGR)[4] بودند.

سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل Leaf Area Meter AM 200) تعیین گردید و شاخص سطح برگ[5] با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

$$LAI = \frac{LA}{GA}$$
معادله (۱)

در این معادله، LA: نشان‌دهنده سطح برگ و GA: نشان‌دهنده سطح زمین است.

به‌منظور محاسبه سرعت رشد محصول[6] در طول فصل رشد، معادله ۲ مورد استفاده قرار گرفت (Gardner et al., 1985).

$$CGR = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$$
معادله (۲)

به‌منظور محاسبه سرعت رشد نسبی[7] در طول فصل رشد، معادله ۳ مورد استفاده قرار گرفت (Gardner et al., 1985).

$$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$
معادله (۳)

در این معادله، t_1: زمان نمونه‌گیری اول (روز)، t_2: زمان نمونه-

1- Leaf area index
2- Dry matter accumulation
3- Crop growth rate
4- Relative growth rate
5- Leaf area index (LAI)
6- Crop growth rate (CGR)
7- Relative growth rate (RGR)

گیری دوم (روز)، w_1: وزن خشک گیاه در هنگام نمونه‌برداری اول (گرم در مترمربع)، w_2: وزن خشک گیاه در هنگام نمونه‌برداری دوم (گرم در مترمربع) می‌باشد.

فاصله زمانی برای هر مرحله فنولوژیک بر اساس تعداد روز و درجه روز رشد[1] محاسبه و ثبت گردید. درجه- روز رشد با استفاده از معادله ۴ تعیین گردید (McMaster & Wilhelm, 1998).

$$GDD = \sum_{1}^{n}[(T_{max}+T_{min}/2)]-Tb$$

معادله (۴)

در معادله فوق، T_{max} و T_{min}: به‌ترتیب حداکثر و حداقل دمای روزانه و T_b: دمای پایه می‌باشد. آمار هواشناسی از ایستگاه هواشناسی طرق تهیه شد.

جهت مقایسه عملکرد، در هنگام رسیدگی محصول و برگ‌ها و زرد شدن فولیکول‌ها (اواخر تیر ماه) در نیمی از کرت که برای مقایسه عملکرد اختصاص یافته بود، ردیف‌های کناری و نیم متر از انتها به‌عنوان اثر حاشیه‌ای حذف و از بقیه کرت، یک مترمربع برداشت شد. مقادیر دانه و کاه و کلش توزین و عملکرد دانه محاسبه شد. اجزای عملکرد مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه گل‌دهنده در گیاه، تعداد فولیکول در گیاه، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه بودند که قبل از برداشت تعداد ۱۰ بوته (برابر ۰/۱۷، ۰/۰۸، ۰/۰۶ و ۰/۰۴ مترمربع به‌ترتیب برای تراکم‌های ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ بوته) از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد.

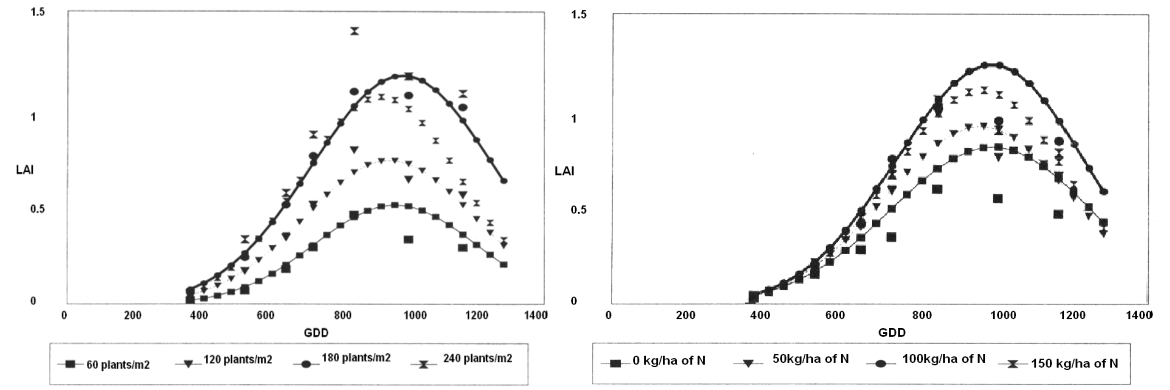
برای تجزیه آماری و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS و Excel استفاده شد و مقایسه میانگین به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. همبستگی معادلات و توابع شاخص‌های رشد با استفاده از نرم‌افزارهای آماری محاسبه و ترسیم شدند. نتایج همبستگی بین صفات با استفاده از آزمون پیرسون انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI) یکی از معیارهای اساسی و مهم در تعیین قدرت فتوسنتزی گیاه محسوب می‌گردد که بیان‌کننده سطح برگ به سطح زمین اشغال شده توسط گیاه است (Gardner et al., 1985). تراکم از جمله عوامل تأثیرگذار بر شاخص سطح برگ است. هر چه فاصله بین بوته‌ها کمتر باشد، سبب افزایش تعداد شاخه فرعی و در نهایت، تعداد برگ سبز در واحد سطح می گردد. اگرچه ممکن است، با افزایش تراکم تعداد شاخه فرعی کاهش یابد، ولی به‌علت این که در کل تعداد شاخه فرعی در واحد سطح افزایش می یابد، LAI با افزایش تراکم کاشت افزایش می‌یابد (Fillippo et al., 2002). شاخص سطح برگ ابتدا افزایش یافته و این روند کمی قبل از مرحله گل‌دهی به بالاترین مقدار رسیده و بعد از آن به‌علت پژمردگی برگ‌های پایینی و ریزش برگ‌ها کاهش یافت (شکل ۱). علاوه‌براین، افزایش نیتروژن منجر به افزایش شاخص سطح برگ شد، به‌طوری‌که کمترین شاخص سطح برگ در شرایط عدم کاربرد نیتروژن (۰/۴۸) و بیشترین مقدار شاخص سطح برگ (۱/۲۶) در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد (شکل ۱).

با توجه به اینکه میزان جذب نور توسط برگ‌ها و تبدیل آن‌ها به مواد فتوسنتزی عامل مهمی در رشد و تولید گیاه است، افزایش تعداد و سطح برگ باعث افزایش جذب نور شده که در نهایت، به‌شرط محدودکننده نبودن سایر فاکتورهای محیطی و بروز هر نوع تنش زنده و غیرزنده، می‌تواند منجر به افزایش تولید ماده خشک و در نتیجه، عملکرد گردد. سایر بررسی‌ها نیز نشان داده است دلیل عمده کاهش شاخص سطح برگ در مراحل پایانی رشد، ریزش بعضی از برگ‌های پایینی می‌باشد (Saberali et al., 2007). عموماً روند رشد سطح برگ گیاهان در طی فصل رشد به‌صورت غیرخطی (لجستیکی) می-باشد؛ به‌طوری‌که در نیمه دوم فصل رشد به حداکثر مقدار خود می-رسد و سپس با از بین رفتن برگ‌های پیر کاهش می‌یابد و این زمانی است که تولید برگ‌های جدید کفاف سطح برگ از دست رفته را نمی‌کند (Jahan et al., 2012). در این راستا، محققان دیگر نیز بیان نمودند که با افزایش مصرف نیتروژن سطح برگی بیشتری به‌وجود آمده که خود با جذب تشعشع بیشتر نور خورشید، موجب افزایش میزان فرآیند فتوسنتز در گیاه شده و در نهایت، ماده خشک بیشتری تولید خواهد شد (Gun et al., 2011; Mosavi et al., 2005). لباسچی و شریفی (Lebaschi & Sharifi, 2004) نیز گزارش کردند که پتانسیل فتوسنتزی و توان رشدی، همبستگی بالایی با سطح برگ داشته و میزان ماده خشک کل نتیجه کارایی جامعه گیاهی از نظر استفاده از تشعشع در طول فصل رشد است که در این ارتباط جامعه گیاهی نیاز به سطح برگ کافی دارد که با پوشش یکنواخت و کامل جذب حداکثری نوری را فراهم آورد. یافته‌های دیگر محققان بر همبستگی بالای شاخص سطح برگ و عملکرد گیاهان تأکید دارد (Mostafavi, 2014; Ghobadi et al., 2011).

1- Growing degree day (GDD)

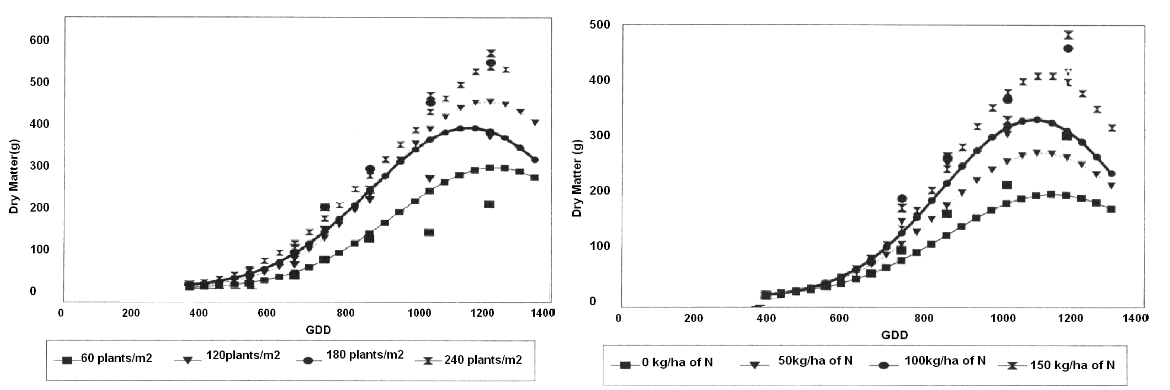


شکل ۱- اثر سطوح نیتروژن (راست) و تراکم بوته (چپ) بر تغییرات شاخص سطح برگ گیاه دارویی سیاهدانه در درجه- روز رشد بعد از کاشت

Fig. 1- Effects of nitrogen rates (right) and plant density (left) on leaf area index of black seed as a medicinal plant during growth degree days after planting time

سیاهدانه به‌سبب داشتن برگ‌های رشته‌ای از شاخص سطح برگ پائین برخوردار است. حداکثر شاخص سطح برگ در تراکم ۱۸۰ بوته در مترمربع حدود ۱/۲ مشاهده شد. محققین گزارش نموده‌اند که شاخص سطح برگ در تراکم‌های بالاتر زودتر از تراکم‌های پائین تر به حداکثر می‌رسد، امّا دوام سطح برگ در تراکم‌های پائین‌تر بیشتر است (Fillippo et al., 2002).

چنان‌که انتظار می‌رفت، بیشترین تجمع ماده خشک در طی فصل رشد در تیمارهایی مشاهده شد که دارای شاخص سطح برگ بالاتر و در نتیجه، ظرفیت بالاتری برای تولید و تجمع ماده خشک بودند. افزایش شاخص سطح برگ می‌تواند موجب افزایش توان فتوسنتزی گیاه و در نتیجه، افزایش تولید ماده خشک شود که این امر به نوبه خود می‌تواند بهبود عملکرد را موجب گردد. در اوایل دوره رشد، میزان و سرعت تجمع ماده خشک کم بود و با گذشت زمان و همراه با افزایش شاخص سطح برگ میزان فتوسنتز جامعه گیاهی افزایش یافته و شیب منحنی تجمع ماده خشک شدت بیشتری گرفت و پس از آن به دلایلی همچون پیری و زردی برگ‌ها، سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر پایینی و ریزش برگ‌های پایینی، انتقال دوباره کربوهیدرات‌های ذخیره شده، افزایش بافت‌های ساختمانی غیرفتوسنتزی و افزایش تنفس گیاه شیب تجمع ماده خشک کم شده و سپس ثابت شد. همچنین به‌نظر می‌رسد کاهش چشمگیر سرعت و ثابت شدن روند تجمع ماده خشک کمی پس از گل‌دهی گیاه و هم‌زمان با پر شدن دانه رخ داده است.



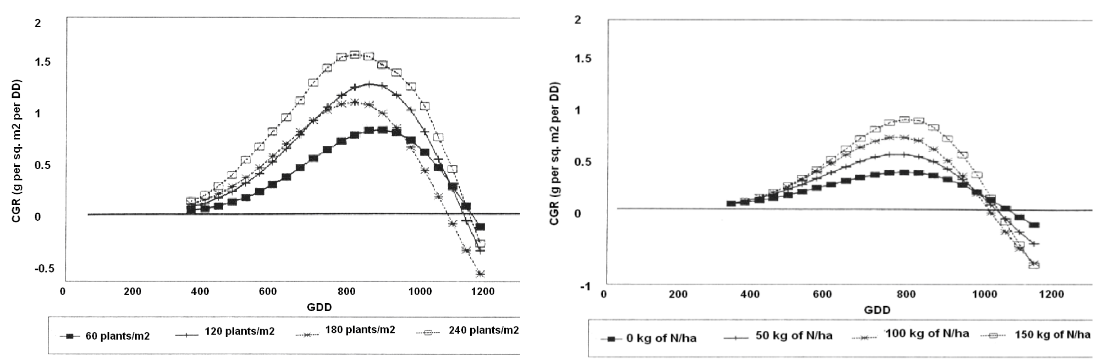
شکل ۲- اثر سطوح نیتروژن (راست) و تراکم بوته (چپ) بر تغییرات میزان تجمع ماده خشک گیاه دارویی سیاهدانه در درجه- روز رشد بعد از کاشت

Fig. 2- Effects of nitrogen rates (right) and plant density (left) on dry matter accumulation of black seed as a medicinal plant during growth degree days after planting time

کاهش رقابت درون گونه‌ای و بین بوته‌ای در فاصله کاشت بیشتر و تراکم‌های کمتر منجر به افزایش جذب نور و مواد غـذایی و بهبـود فتوسنتز شده و به دنبال آن تجمع نسبی ماده خشک افـزایش یافتـه است (شکل ۲).

میزان تجمع ماده خشـک یکـی از شـاخص‌هـای مهـم ارزیـابی وضعیت رشد گیاه می‌باشد که نشان‌دهنده تجمع ماده خشک در کـل گیاه است. وزن خشک کل پیکره گیاه به‌عنوان یکـی از نشـانگرهای مهم وضعیت رشدی گیاه، مدنظر می‌باشد. به‌طوری‌کـه افـزایش وزن خشک بوته نشان‌دهنده موفقیت بیشتر گیـاه در فتوسـنتز بـه‌واسـطه فراهم بودن شرایط رشدی مناسب‌تر می‌باشد. در واقع، مجموع بافت-های فتوسنتزکننده و تنفس‌کننده را نشـان مـی‌دهـد. ایـن شـاخص، انعکاسی از فتوسنتز خالص گیاه اسـت (Mostafavi, 2014) و مـاده فتوسنتزی تولیدی می‌تواند به کاربرد رشد گیاه رسیده و یا در انـدام-های ذخیره‌ای تجمع یابد و تعیین‌کننده عملکرد گیاهان زراعی باشد. با افزایش تراکم وزن هر بوته کاهش می‌یابد، امّا افزایش تراکم منجر به افزایش وزن خشک اندام‌هـای هـوایی در واحـد سـطح مـی‌شـود (Fillippo et al., 2002). با افزایش مقدار نیتروژن روند تجمع ماده خشک افزایش پیـدا کـرد. از آن‌جـا کـه نیتـروژن از عناصـر اصـلی ساختمان کلروفیل است؛ بنابراین، کاهش تجمع ماده خشـک تحـت محیط‌های با تنش نیتروژن دور از انتظار نیست. افزایش ماده خشک تولیدی با مصرف نیتروژن می‌تواند به‌دلیل تأثیر نیتروژن بر گسترش سطح برگ و تداوم بیشتر آن و در نتیجه، افزایش میزان کربن‌گیری و فتوسنتز باشد، به‌عبارتی نیتروژن با تسریع رشد سلول‌هـای مریسـتم انتهایی گیاه زمینه لازم را برای رشد گیاه فراهم می‌کند (Sobhani et al., 2014). اعمال تراکم‌های پایین از طریق افزایش فاصله بـین بوته‌ها و دریافت نور بیشتر، موجب بهبود فعالیت فتوسنتزی در مقایسه با تراکم‌های بالا شد (Baloch et al., 2002).

در آغاز فصل رشد به‌دلایلی همچون کافی نبودن پوشش گیاهی، پایین بودن درصد جذب تابش، کوتاه بودن روزها و دمای پایین هوا، سرعت رشد گیاه پایین بوده و پس از مدتی به‌دلیل توسعه سطح برگ و افزایش رشد ریشه و در نتیجه، امکان فتوسنتز بالاتر، سرعت رشـد گیاه شدت یافت و در اواسط دوره رشد به حداکثر میزان خـود رسـید. پس از این مرحله، سرعت رشد گیاه دچار کاهش شدیدی شـد و ایـن روند تا پایان دوره رشد گیاه به‌صورت نزولـی ادامـه یافـت. حـداکثر مقادیر CGR مصادف با شروع مرحله میوه‌دهی (حدود ۸۰۰ درجه روز رشد) بوده و با حداکثر LAI منطبق است. بیشـترین CGR در تیمـار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد (شکل ۳).

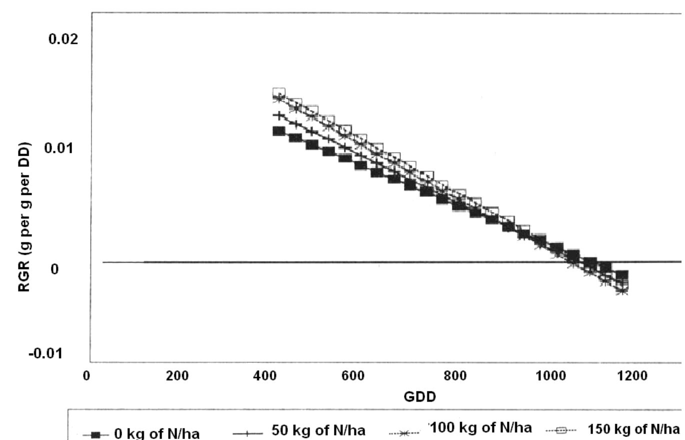


شکل ۳- اثر سطوح نیتروژن (راست) و تراکم بوته (چپ) بر تغییرات سرعت رشد محصول گیاه دارویی سیاهدانه در درجه- روز رشد بعد از کاشت
Fig. 3- Effects of nitrogen rates (right) and plant density (left) on crop growth rate of black seed as a medicinal plant during growth degree days after planting time

سرعت رشد محصول، افزایش وزن یک اجتماع گیـاهی در واحـد سطح در واحد زمان می‌باشد و به‌طور وسیعی در تجزیه و تحلیل رشد گیاهان به کار گرفته شده اسـت. از آن‌جـا کـه CGR حاصـل‌ضـرب شاخص سطح برگ در سرعت آسیمیلاسـیون خـالص مـی‌باشـد، لـذا گیاهانی که شاخص سطح برگ بالاتری دارند، سرعت رشد محصول آن‌ها نیز بالاتر می‌باشد، زیرا هرچه شاخص سطح برگ بالاتر باشـد،

میزان تولید مواد فتوسنتزی نیز بالاتر می‌باشد. سرعت رشد گیاه یکی از شاخص‌هایی است که با عملکرد گیاهـان همبسـتگی بـالایی دارد (Mohammadian et al., 2013) و از مهم‌ترین شاخص‌های تجزیه و تحلیل رشد در جامعه‌های گیاهی می‌باشد که به‌صورت افزایش وزن خشک یک اجتماع گیاهی در واحد سطح زمین در واحد زمان تعریـف می‌شود و به‌طور معمول، بر حسب گرم (وزن خشـک کـل گیـاه) در مترمربع (سطح زمین) در روز بیان می‌شود. از ایـن شـاخص بـه‌طـور گسترده‌ای در تجزیه و تحلیل رشد گیاهان استفاده می‌شود. بـه نظـر می‌رسد بالاتر بودن میزان تنفس نسبت به فتوسنتز جاری به‌ویـژه در مراحل انتهایی رشد (Van Irsel, 2000; Van Irsel & Seymour, 2000) موجب کاهش شدیدتر سرعت رشد گیـاه شـده اسـت. نتـایج نشان داده است که سـرعت رشـد گیـاه رابطـه مسـتقیمی بـا سـطح فتوسنتزکننده داشته و به‌ویژه در تراکم‌های مطلوب توزیع بوتـه‌هـا و سطح برگ در واحد سطح یکنواخت‌تر شده و برگ‌ها موقعیت مناسب‌تری برای جذب تابش و فتوسنتز پیدا می‌کننـد و در نتیجـه، سـرعت رشد گیـاه افـزایش مـی‌یابـد (Oozooni Doji et al., 2008). بـین سرعت رشد گیاه و میزان تابش جذب شده توسـط بـرگ‌هـای گیـاه رابطه مستقیم وجود دارد، به‌طوری‌که در آغـاز و پایـان فصـل رشـد به‌دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و کم بودن سطح دریافـت‌کننـده تابش، تولید ماده خشک کمتر شده و میزان سرعت رشد گیاه هم کم می‌باشد، امّا با رشد سریع گیاه و افزایش سطح برگ، جـذب تـابش و سرعت رشد گیـاه افـزایش مـی‌یابـد (Habibzadeh et al., 2006). راعی و همکاران (Raee et al., 2008) نتیجه گرفتنـد کـه کـاهش سرعت رشد محصول در تراکم‌های بالاتر به‌دلیل تشدید رقابت درون گونه‌ای بیشتر بود.

سرعت رشد نسبی، نشان‌دهنده تولید ماده خشک هر گیاه نسبت به وزن اولیه گیاه می‌باشد که در مراحل اولیه رشد که برگ‌های گیاه اغلب در معرض نور خورشید قرار دارد، سـرعت تجمـع مـاده خشـک بالاتر بوده، ولی هم‌زمان با رشد گیاه و افزایش سایه‌اندازی بـه‌جـای اینکه تمامی برگ‌ها تولیدکننده مواد فتوسنتزی باشند، بخشی از آن‌ها بیشتر نقش مصرف‌کننده داشته و باعث کاهش سـرعت رشـد نسـبی می‌گردد. سرعت رشد نسبی با گذشت زمان کاهش یافت (شـکل ۴) که علت این امر ناشی از کاهش NAR در طول فصل رشد می‌باشد. دلیل دیگر این است که قسمت‌هایی که به گیـاه افـزوده مـی‌شـوند، بافت‌های ساختمانی بوده و بافت‌های فعال متابولیکی نیستند و چنین بافت‌هایی سهمی در رشد ندارند. کاربرد نیتروژن سبب سـرعت رشـد اندام‌های رویشی و در نتیجه، افزایش وزن خشک آن‌ها می‌شود.



شکل ٤- اثر سطوح نیتروژن (راست) و تراکم بوته (چپ) بر تغییرات سرعت رشد محصول گیاه دارویی سیاهدانه در درجه- روز رشد بعد از کاشت

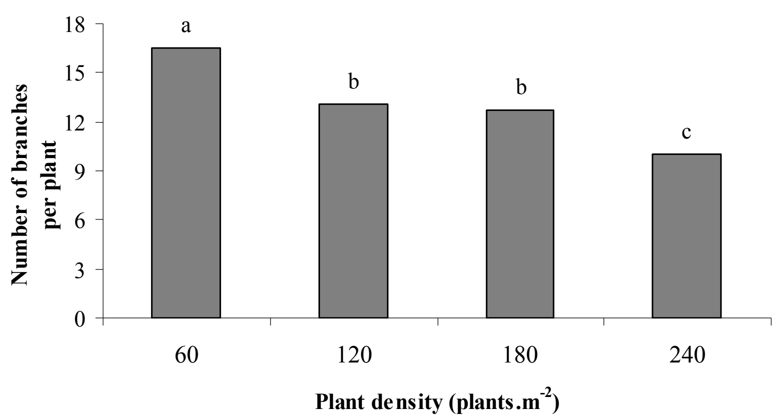
Fig. 4- Effects of nitrogen rates (right) and plant density (left) on crop growth rate of black seed as a medicinal plant during growth degree days after planting time

یکی از دلایل روند کاهشی سـرعت رشـد نسـبی آن اسـت کـه بخش‌های افزوده شده به گیاه اغلب بافت‌های ساختمانی هستند که از لحاظ متابولیکی فعال نبوده و نقشـی در فتوسـنتز ندارنـد. همچنـین به‌دلیل قرار گرفتن برگ‌های اولیـه در سـایه و افـزایش سـن آن‌هـا فعالیت فتوسنتزی کاهش یافته و سرعت رشد نسبی نیز کاهش می‌یابد. هر چند که وزن خشک گیاه با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند،

ولی از سرعت رشد نسبی به‌دلیل افزایش نسبت بافت‌های ساختمانی به بافت‌های در حال رشـد کاسـته مـی‌شـود. نتـایج برخـی از دیگـر مطالعات نیز مؤید کاهش سرعت رشد نسـبی بـر اثـر گذشـت زمـان به‌دلیل سایه‌اندازی گیاه می‌باشد (Tarigholeslami et al., 2012; Eydizadeh et al., 2010). افزایش سن برگ، سایه‌اندازی برگ‌های بالایی روی برگ‌های پایینی و همچنین تخصیص مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به ریشه با افزایش اندازه گیاه از جمله مهم‌ترین دلایل کاهش سرعت رشد نسبی در طول زمان است (Zafarian et al., 2007). در پایان فصل رشد، همچون شاخص سطح برگ و سرعت افزایش تجمع ماده خشک و سرعت رشد گیاه، سرعت رشد نسبی نیز به صفر مـی-رسد که این موضوع ناشی از مسن شدن برگ‌هـا و کـاهش ظرفیـت تولید مواد فتوسنتزی، تخریب تدریجی کلروفیل و کاهش غلظـت آن در سطح برگ و همچنین افزایش تنفس در مقایسه با فتوسنتز در اثر نزدیک شدن به مرحله فیزیولوژیک رسـیدگی مـی‌باشـد (Oozooni Doji et al., 2008). به‌طور کلی، به نظر می‌رسد شاخص سطح برگ و سرعت رشد نسبی، به شرط ثابت بودن دیگر شرایط برای تیمارهای مختلف می‌تواند منجر به دست‌یابی به تجمع بیشتر ماده خشک شود (Mostafavi, 2014).

اثر متقابل تیمارهای مورد آزمایش تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه نداشت. سیاهدانه از جمله گیاهانی است که تراکم‌های پـایین خـود را با افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده جبران می‌کند و در نتیجه، ایـن احتمال وجود دارد که در شرایط تراکم پایین خود را با افـزایش تعـداد شاخه‌های گل‌دهنده جبران کند، لذا در شرایط تراکم پایین نیز به‌دلیل افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده شرایط کمبود نور همانند تراکم بالا عمل نموده و در نتیجه، تفاوتی در ارتفاع گیاه با تغییـر تـراکم دیـده نمـی‌شـود (Amirmoradi & Rezvani Moghaddam, 2011). افزایش مصرف کود نیتروژن سبب تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شده و در نتیجه، موجب تقسیم شدن و بلند شدن سلول‌های گیـاهی می‌گردد که ماحصل آن افزایش ارتفاع بوته است. بـا افـزایش تـراکم بوته، ارتفاع گیاه افزایش یافت که این نتایج توسـط برخـی محققـان گزارش شده اسـت (Rassam et al., 2007; Singh et al., 2005; Hosseinpour et al., 2011). دلیل اصلی افـزایش ارتفـاع بوتـه در کشت‌های متراکم رقابت برای دسترسی به نور مـی‌باشـد (Pirzad, 2007).

اثر متقابل تراکم و نیتـروژن تـأثیر معنـی‌داری بـر تعـداد شـاخه گل‌دهنده در گیاه نداشت، امّا این صفت تحت اثر سـاده تـراکم قـرار گرفت؛ به‌طوری که با افزایش تراکم تعداد شاخه گـل‌دهنـده بـه‌طـور خطی کاهش یافت (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر تراکم بوته بر تعداد شاخه جانبی در بوته گیاه دارویی سیاهدانه

Fig. 5- Mean comparisons for the effect of plant density on number of branches per plant of black seed as a medicinal plant

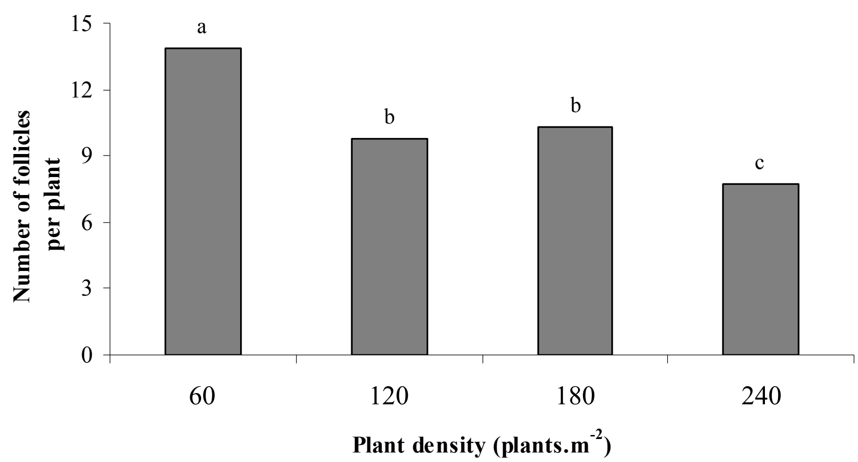
میانگین‌های دارای حروف مختلف بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری دارند (p≤۰/۰۵).

Means with different letter(s) have significant difference based on Duncan’s test ($p \leq 0.05$).

در ایـن راسـتا قـوش و همکـاران (Ghosh et al., 1981) در پژوهشی نتیجه گرفتند که در اثر افـزایش تـراکم تعـداد شـاخه‌هـای گل‌دهنده و تعداد کپسول در گیـاه سـیاهدانه کـاهش پیـدا کـرد. در پژوهش دیگری توسط حسین‌پور و همکاران (Hosseinpour et al.,

2011) روی گیـاه آنیسـون (*Pimpinella anisum* L.) مشـخص گردید که افزایش تراکم بوته از ۱۲/۵ به ۲۵ بوته در مترمربع، افزایش عملکرد دانه و عملکرد اسانس را به دنبال داشت. همچنـین افـزایش مصرف نیتروژن بهبود اجزای عملکرد دانه شامل تعداد چترک در بوته، عملکرد دانه و عملکرد اسانس را موجب گردید. البته افزایش بـیش از حد تراکم کاهش اجزای عملکرد را موجب گردید.

اثر متقابل تیمارهای مـورد مطالعـه تـأثیر معنـی‌داری بـر تعـداد فولیکول در گیاه نداشت، امّا اثرات سـاده هـر یـک از تیمارهـا تـأثیر معنی‌داری بر این صفت داشت، به‌طوری‌که رابطه منفی بین تـراکم و تعداد فولیکول در گیاه مشاهده شد (r^2=-۰/۸۱). به‌عبـارتی، افـزایش تراکم از ۶۰ به ۲۴۰ بوته در مترمربع منجر به کاهش تعداد فولیکـول در گیاه شد (شکل ۶). تأثیر تراکم بر تعداد کپسول مشابه تأثیر تراکم بر تعداد شاخه‌های گل‌دهنده اسـت و همبسـتگی بـین تعـداد شـاخه گل‌دهنده و تعداد کپسـول در بوتـه بـالا اسـت (Amirmoradi & Rezvani Moghaddam, 2011)، چنـین نتیجـه‌ای قـبلاً توسـط برخی محققان (Das et al., 1991; Ghosh et al., 1981; Toncer & Kizil, 2004) نیز گزارش شده است.



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر تراکم بوته بر تعداد فولیکول در بوته گیاه دارویی سیاهدانه

Fig. 6- Mean comparisons for the effect of plant density on number of follicles per plant of black seed as a medicinal plant

میانگین‌های دارای حروف مختلف بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری دارند ($p\leq$۰/۰۵).

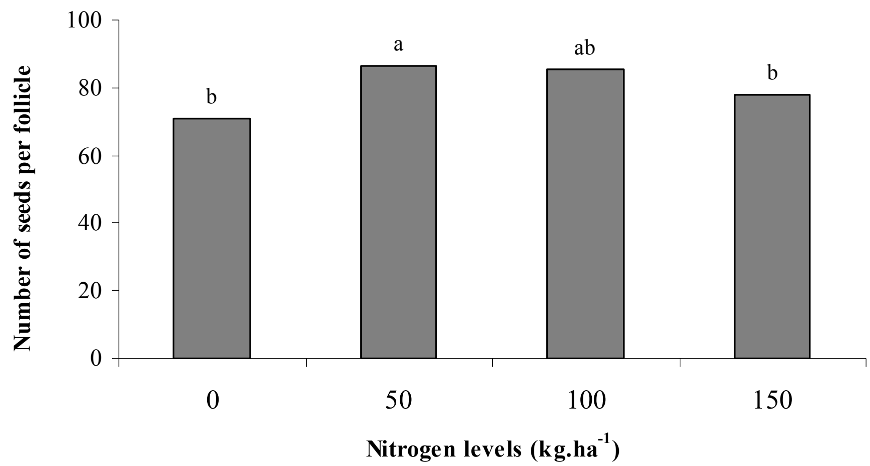
Means with different letter(s) have significant difference based on Duncan's test ($p\leq0.05$).

اثر سطوح مختلف مصرف نیتروژن نیز بر تعداد دانه در فولیکـول تأثیر معنی‌داری داشت؛ به‌طوری‌که با افزایش مصرف نیتروژن به‌طور نسبی این صفت افزایش یافت (شکل ۷) که این نتایج با نتایج برخی از محققـان (Das et al., 1991; Khan & Chatterjee, 1982) مطابقت داشت. اثر متقابل تراکم بوته در نیتروژن تأثیر معنی‌داری بـر تعداد دانه در فولیکول نداشت؛ در حالی‌کـه سـطوح مختلـف مصـرف نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در فولیکول داشت.

با توجه به اینکه گیاه سیاهدانه، رشد نامحدود است و گل‌آذیـن‌های این گیاه در تمامی انشعابات ظاهر می‌شـوند (Fillippo et al., 2002)، در نتیجه با کاهش نور و سایر منابع مـورد نیـاز بـه تبـع آن کاهش سهم گیاه در استفاده از ایـن منـابع و شـاخص‌هـای مختلـف کاهش معنی‌داری خواهند یافت.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن هزار دانـه تحـت تأثیر هیچ یک از تیمارهای مورد آزمایش قـرار نگرفـت. اثـر متقابـل تیمارهای مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت و ایـن صفت تنها تحت تأثیر سطوح مختلف مصرف نیتـروژن قـرار گرفـت. به‌طوری‌که بین مقدار نیتروژن وعملکرد دانه رابطه مثبتی مشاهده شد (r^2=۰/۸۰). بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتـروژن در هکتار (۸۹۵/۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد از عـدم کـاربرد نیتروژن با (۵۸۹/۹ کیلوگرم دانه در هکتـار) بـه‌دسـت آمـد. افـزایش مصرف نیتروژن بهبود عملکرد کاه و عملکرد بیولوژیکی سـیاهدانه را موجب گردید و با توجه به نتایج مشخص است که مصرف بالای این

عنصر نمی‌تواند تأثیر بسزایی بر عملکرد این گیاه داشته باشد (شکل‌های ۸ و ۹). خان و چاترجی (Khan & Chatterjee, 1982) با کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشترین عملکرد دانه و داس و همکاران (Das et al., 1991) با کاربرد ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بالاترین عملکرد را مشاهده نمودند. تراکم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نشان نداد، چنین به نظر می‌رسد که افزایش شاخه‌دهی گیاه سیاهدانه در تراکم‌های پایین، منجر به جبران کمبود تعداد گیاه کشت شده در تراکم‌های پایین می‌شود. اثر متقابل سطوح مختلف تیمارهای مورد آزمایش تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کاه و کلش نداشت و این صفت صرفاً تحت تأثیر سطوح مختلف نیتروژن مصرفی قرار گرفت.

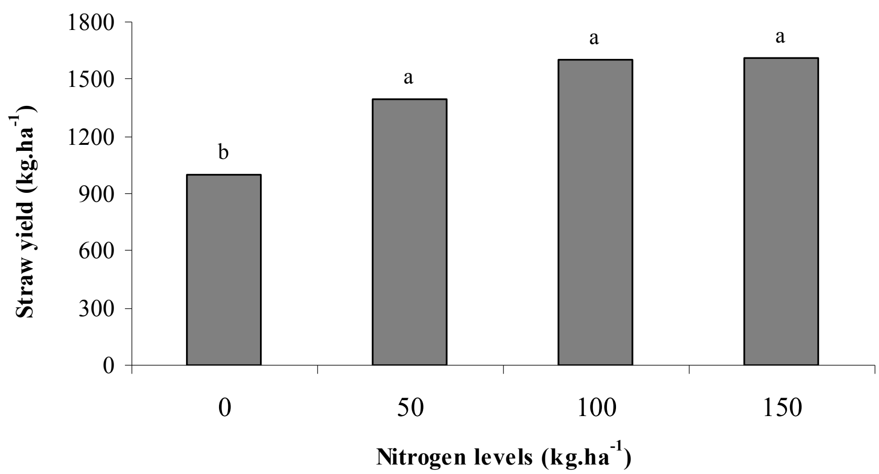


شکل ۷- مقایسه میانگین اثر سطوح نیتروژن بر تعداد دانه در فولیکول گیاه دارویی سیاهدانه

Fig. 7- Mean comparisons for the effect of nitrogen levels on number of seeds per follicle of black seed as a medicinal plant

میانگین‌های دارای حروف مختلف بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری دارند ($p\leq۰/۰۵$).

Means with different letter(s) have significant difference based on Duncan's test ($p\leq0.05$).



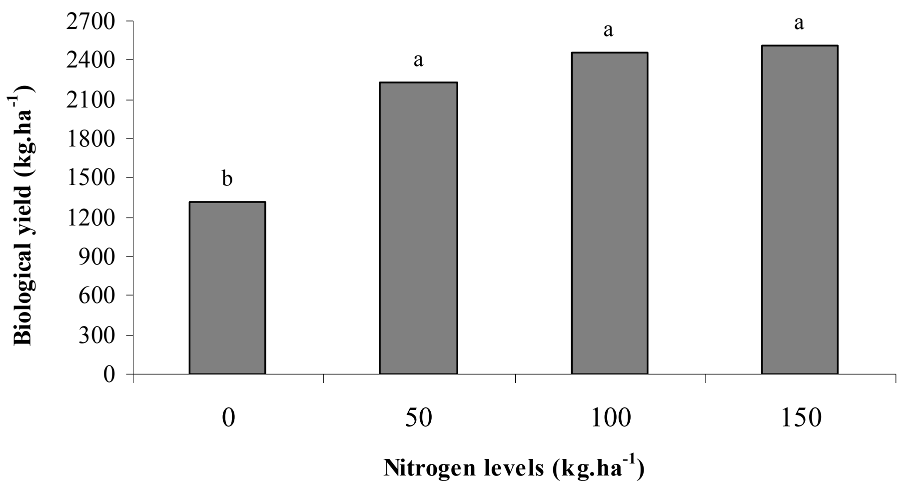
شکل ۸- مقایسه میانگین اثر سطوح نیتروژن بر عملکرد کاه گیاه دارویی سیاهدانه

Fig. 8- Mean comparisons for the effect of nitrogen levels on straw yield of black seed as a medicinal plant

میانگین‌های دارای حروف مختلف بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری دارند ($p\leq۰/۰۵$).

Means with different letter(s) have significant difference based on Duncan's test ($p\leq0.05$).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تیمارهای تراکم و نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک گیاه نداشت. اثر ساده میزان نیتروژن مصرفی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک گیاه داشت. عملکرد بیولوژیک دارای همبستگی بالایی با عملکرد کاه و کلش ($r^2=0.99$) و عملکرد دانه ($r^2=0.97$) بود.



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر سطوح نیتروژن بر عملکرد بیولوژیکی گیاه دارویی سیاهدانه

Fig. 9- Mean comparisons for the effect of nitrogen levels on biological yield of black seed as a medicinal plant

میانگین‌های دارای حروف مختلف بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری دارند (p≤۰/۰۵).

Means with different letter(s) have significant difference based on Duncan's test ($p\leq0.05$).

به‌طور کلی، نیتروژن نقش اساسی در ساختمان کلروفیل دارد و از طرفی، مهم‌ترین عنصر در سنتز پروتئین‌ها محسوب می‌شود و افزایش آن در شرایط مطلوب تا حد مشخصی، موجب افزایش میزان پروتئین می‌گردد. با افزایش پروتئین، گیاه به توسعه سطح برگ، تعداد گل، تعداد شاخه جانبی، ارتفاع و قطر تاج پوشش گیاهی می‌پردازد که افزایش این صفات افزایش تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت، افزایش عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه را به دنبال دارد (Rahmani et al., 2010). وحیدی‌پور و همکاران (Vahidipour et al., 2013) نیز نشان دادند که مصرف کود نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد زنیان شد. دادوند سراب و همکاران (Dadvand Sarab et al., 2008) گزارش نمودند که افزایش تراکم بوته و نیتروژن اثر معنی‌داری بر عملکرد ماده خشک و عملکرد اسانس گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) داشت. قیلاوی‌زاده و همکاران (Ghilavizadeh et al., 2012) گزارش کردند که افزایش مصرف کودهای تأمین‌کننده نیتروژن و تراکم بوته از ۱۲/۵ به ۲۵ بوته در مترمربع باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس گیاه دارویی زنیان شد. اکبری‌نیا و همکاران (Akbarinia et al., 2006) با بررسی اثر کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد بذر، اسانس و روغن گیاه گشنیز گزارش نمودند که از لحاظ عملکرد بذر و عملکرد اسانس کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار و از لحاظ درصد اسانس تیمار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن با تراکم ۳۰ بوته در مترمربع بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند. پاپ و همکاران (Pop et al., 2007) نیز نشان دادند که در گیاه همیشه‌بهار مصرف نیتروژن موجب افزایش عملکرد گل خشک گردید.

نتیجه‌گیری

لزوم برنامه‌ریزی دقیق برای استفاده بهینه از منابع در تولید پایدار گیاهان دارویی همچون سیاهدانه امری ضروری است. به‌طور کلی، نیتروژن نقش اساسی در رشد رویشی دارد و افزایش آن تا حد مطلوب، موجب افزایش میزان پروتئین و بهبود رشد و عملکرد گردید.

بر اساس نتایج افزایش مصرف کود در مقادیر بالاتر برای دستیابی به حداکثر عملکرد کمّی سیاهدانه و دیگـر شـاخص‌هـای رشـدی ماننـد عملکرد بیولوژیکی کل و بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد مـی-تواند مناسب باشد. در حالی‌که در بسیاری از این صفات تـراکم تـأثیر معنی‌داری نشان نداد، چنین به نظر می‌رسد که افـزایش شـاخه‌دهـی گیاه سیاهدانه در تراکم‌های پایین، منجر به جبران کمبود تعداد گیـاه در تراکم‌های پایین شده و عملکرد را بهبود داده است. از طرف دیگر، افزایش بیش از حد تراکم به‌دلیل تشدید رقابت بین بوته‌ای اثر منفـی بر شاخص‌های عملکرد سیاهدانه دارد.

References

Akbarinia, A., Daneshian, J., and Mohammadbeigi, F., 2006. Effect of nitrogen fertilizer and plant density on seed yield, essential oil and oil content of *Coriandrum sativum* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 22(4): 410-419. (In Persian with English Summary)

Amirmoradi, S., and Rezvani Moghaddam, P., 2011. Effect of plant density and time of nitrogen application on morphological, phenological characteristics, yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Horticulture Science 25(3): 251-260. (In Persian with English Summary)

Atta, M.B., 2003. Some characteristics of (*Nigella sativa* L.) seed cultivated in Egypt and its lipid profile. Food Chemistry Journal 83(1): 63-68.

Babayan, V.K., Kootungal, D., and Halaby, G.A., 1978. Proximate analysis, fatty acid and, amino acid composition of (*Nigella sativa* L.) seed. Journal of Food Science 43: 1315–1319.

Baloch, A.W., Soomro, A.M., Javed, M.A., Ahmad, M., Bughio, H.R., and Bughio, M.S., 2002. Optimum plant density for high yield in rice (*Oriza sativa* L.). Asian Journal of Plant Science 1(2): 114-116.

Blackman, V.H., 1919. The compound interest law and plant growth. Annals of Botany 33: 353-360.

Dadvand Sarab, M.R., Naghdi Abadi, H.A., Nasri, M., Makizadeh, M., and Omidi, H., 2008. Variations of essential oil contents and yield of Basil (*Ocimum basilicum* L.) affected by plant density and nitrogen. Medicinal Plants 3(27): 60-70. (In Persian with English Summary)

Das, A.K., Sadhu, M.K., and Som, M.G., 1991. Effect of N and P levels on growth and yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). Horticulture Journal 4: 41-47.

Erkan, N., Ayranci, G., and Ayranci, E., 2008. Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract, blackseed (*Nigella sativa* L.) essential oil, carnosic acid, rosmaric acid and sesamol. Food Chemistry 110: 76–82.

Eydizadeh, K., Mahdavi Damghani, A., Sabahi, H., and Soufizadeh, S., 2010. Effects of Integrated application of biofertiliser and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. Journal of Agroecology 2(2): 292-301. (In Persian with English Summary)

Gardner, F.P., Pearce, R.B., and Mitchell, R.M., 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, 327 pp.

Ghilavizadeh, A., Taghi Darzi, M., and Rejali, F., 2012. Influence of plant growth promoter bacteria and plant density on yield and yield components and seed yield of ajowan (*Carum copticum*). International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4(17): 1255-1260.

Ghobadi, M., Jahanbin, S., Motalebi Fard, R., and Parvizi, K., 2011. The effect of biological phosphate fertilizers to yield and yield components of potato. Sustainable Agriculture and Production Science 21(2): 117-130. (In Persian with English Summary)

Ghosh, D.K., Roy, K., and Malic, S.C., 1981. Effect of fertilizers and spacing on yield and other characters of black cumin (*Nigella sativa* L.). Indian Agriculture 25: 191-197.

Habibzadeh, Y., Mamghani, R., and Kashani, A., 2006. Effects of plant density on grain yield and some morpho-physiological traits in three mungbean (*Vigna radiate* L.) genotypes under Ahvaz conditions. Iranian Journal of Crop Science 8(1): 66-78. (In Persian with English Summary)

Hamisi, M., Sefidkon, S., Nasri, M., and Lebaschi, M.H., 2012. Effects of different amounts of nitrogen, phosphor and bovine fertilizers on essential oil content and composition of *Tanacetum parthenium* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28(3): 299-410. (In Persian with English Summary)

Hokmalipour, S., and Seyedsharifi, R., 2014. Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) affected by different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers on the yield and some physiological

parameters of barley (*Hordeum vulgar* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 12(4): 822-833. (In Persian with English Summary)

Hosseinpour, M., Pirzad, A., Habibi, H., and Fotokian, M.H., 2011. Effect of biological nitrogen fertilizer (*Azotobacter*) and plant density on yield, yield components and essential oil of anise. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 2(1): 69-86. (In Persian with English Summary)

Hussain, A., Nadeem, A., Ashraf, I., and Awan, M., 2009. Effect of weed competition periods on the growth and yield of black seed (*Nigella sativa* L.). Pakistan Journal of Weed Science Research 15: 71–81.

Jahan, M., Amiri, M.B., and Ehyaei, H.R., 2012. Absorption and radiation use efficiency of sesame affected by biological fertilizers in a low-input agroecosystem. Iranian Journal of Field Crops Research 2(10): 435-447. (In Persian with English Summary)

Khan, S.A., and Chattergee, B.N., 1982. Fertilizer use by *Nigella sativa* L. in West Bengal. Indian Journal of Agricultural Sciences 52: 389-387.

Lebaschi, M.H., and Sharifi, E., 2004. Application of physiological growth indices for suitable harvesting of *Hypericum perforatum*. Pajouhesh and Sazandegi (65): 65-75. (In Persian with English Summary)

Manaffee, W.F., and Kloepper, J.W., 1994. Applications of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable agriculture. In C.E. Pankburst, B.M. Doube, V.V.S.R. Gupta and P.R. Grace, (Eds.) p. 23-31. CSLRO, Publication. East Melbourne: Australia.

McMaster, G.S., and Wilhelm, W.W., 1998. Soil biota management in sustainable farming by shoots. Is soil temperature better than air temperature for predicting winter wheat phenology. Agronomy Journal 90(5): 602-607.

Mehta, B.K, Pandit, V., and Gupta, M., 2009. New principle from seeds of *Nigella sativa*. Natural Product Research 23: 138–148.

Mohammadian, M., Rezvani Moghaddam, P., Zarghani, H., and Yanegh, A.J., 2013. Morphological and physiological evaluation of intercropping of three elite sesames. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 685-693. (In Persian with English Summary)

Morteza, E., Akbari, G.A., Modares Sanavi, S.A.M., Aliabadi Farahani, H., Foghi, B., and Abdoli, M., 2010. The effects of sowing date and planting density on some of the growth characteristics of Valerian (*Valeriana officinalis* L.) and didrovaltrate content. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 25(4): 495-503. (In Persian with English Summary)

Mosavi, S.G.R., Segatoleslami, M.J., and Pooyan, M., 2012. Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of *Plantago ovata* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(4): 699-681. (In Persian with English Summary)

Mosavi, S.H., Fathi, G., and Dadgar, M.A., 2005. Planting date and density on growth, yield components and yield of red beans. Fist Pulse National Conference, 20-21st November. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian)

Mostafavi, M.J., 2014. The effect of chemical and biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Mashhad climate condition. MSc. Thesis, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Oozooni Doji, A., Esfahani, M., Samee Zadeh Lahiji, H., and Rabiee, M., 2008. The effect of planting pattern and plant density on the growth and radiation use efficiency of two cultivars of without petals and with petals rapeseed. Iranian Journal of Field Crop Science 9(4): 382-400. (In Persian with English Summary)

Pirzad, A.R., 2007. Effect of irrigation and plant density on some physiological traits of german chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Ph.D. Thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran 195 pp. (In Persian with English Summary)

Pop, G., Pirsan, P., Mateoc-sirb, N., and Mateoc, T., 2007. Influence of technological elements on yield quantity and quality in marigold (*Calendula officinalis* L.) cultivated in cultural conditions of Timisoara. 1st International Scientific Conference on Medicinal, Aromatic and Spice Plants: Nitra, p. 20-23.

Raee, Y., Ghasemi Golozaani, A., Javanshir, A., Aliyaari, H., and Mohammadi, A., 2008. Effect of plant density on intercropping of soybean and sorghum. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources 12(45): 35-44. (In Persian with English Summary)

Rahmani, N., Jalali-Yekta, A., Taherkhani, T., and Daneshian, J., 2010. Effect of different levels of plant density and nitrogen on essential oil yield of marigold (*Calendula officinalis* L.). Journal of Crop Ecophysiology 2(1): 347-354. (In Persian with English Summary)

Ramadan, F.M., and Morsel, J.T., 2003. Analysis of glycolipids from black cumin (*Nigella sativa* L.), coriander (*Coriandrum sativum* L.) and niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) oilseeds. Food Chemistry 80: 197–204.

Rassam, G.A., Naddaf, M., and Sefiskon, F., 2007. Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of Anise (*Pimpinella anisum* L.). Pajouhesh and Sazandegi 75: 127-133. (In Persian with English Summary)

Rezvani Moghaddam, P., Seyyedi, S.M., and Azad, M., 2016. Effect of fertilizer managements on yield and yield components of black seed (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology 8(4): 598-611. (In Persian with English Summary)

Saberali, F., Sadat Nouri, S.A., Hejazi, A., and Zand, E., 2007. Influence of plant density and planting pattern of corn on its growth and yield under competition with common lambesquarterrs (*Chenopodium album*). Journal of Research Production 74: 143-152.

Seyed Sharifi, R., and Nemati, A.R., 2014. Influence of rates and nitrogen fertilizer application timing on yield and some growth physiological indices of corn (*Zea mays* L.). Journal of Crop Production and Processing 3(10): 49-67. (In Persian with English Summary)

Sharifi Ashoorabadi, E., Matin, A., Lebaschi, M.H., and Abbaszadeh, B., 2004. Effects of nitrogen application methods on yield of Melissa (*Melissa officinalis*). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 20(3): 369-376. (In Persian with English Summary)

Singh, S., Buttar, G.S., Singh, S.P., and Brar, D.S., 2005. Effect of different dates of sowing and row spacing on yield of fenugreek (*Trigonella foenum-gracum*). Journal of Medicine and Aromatic Plant Science 27(4): 629-640.

Sobhani, G., Golchin, A., and Shekari, F., 2014. Effects of different levels of nitrogen and induced-NaCl stress on yield and growth indices of tomato. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture (Soilless Culture Research Center) 5(3): 49-63. (In Persian with English Summary)

Tarigholeslami, M., Zarghami, R., Mashhad, M., Bojar, A., and Oveisi, M., 2012. Effect of nitrogen fertilizer and water deficit stress on physiological indices of corn (*Zea mays* L.). Journal of Agronomy and Plant Breeding 8(1): 161-174. (In Persian with English Summary)

Toncer, O., and Kizil, S., 2004. Effect of seed rate on agronomic and technologic characters of *Nigella sativa* L. International Journal of Agriculture and Biology 6(3): 529-532.

Vahidipour, T.H., Vahidipour, H.R., Baradaran, R., and Seqhatoleslami, M.J., 2013. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on grain yield and essential oil percentage of medicinal plant ajowan. International Journal of Agronomy and Plant Production 4(5): 1013-1022.

Zafarian, F., Agha Alikhani, M., Rahimian Mashhadi, H., Zand, E., and Rezvani, M., 2007. Yield and yield components response of corn/soybean intercrop to simultaneous competition of redroot pigweed and jimson weed. Iranian Journal of Weed Science 3(1): 39-58. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.4, Winter 2021, p. 635-650

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص ۶۵۰-۶۳۵

Effects of Plant Density and Nitrogen on Physiological Growth Indices, Yield Components and Yield of Black Seed (*Nigella sativa* L.) as a Medicinal Plant

A. Mollafilabi[1*] and H. Moodi[2]
Submitted: 28-09-2018
Accepted: 27-11-2018

Mollafilabi, A., and Moodi, H., 2021. Effects of plant density and nitrogen rates on physiological growth, yield components and yield of black seed (*Nigella sativa* L.) as a medicinal plant. Journal of Agroecology 12(4):635-650.

Introduction

There is an increasing interest to produce medicinal plants as the demand for these natural products is also increasing in the world. Since the middle of the twentieth century, after identifying the negative side effects of chemical drugs, medicinal plants have been replaced by chemical drugs in many cases. Due to the climatic diversity, Iran has a high potential for the production of medicinal plants, however, only a very small portion of the world's market for medicinal plants is allocated to Iran. Considering the possibility of negative effects of chemicals on the quantity and quality of medicinal plants, it is necessary to use ecological principles. On the other hand, it seems that the cultivation of medicinal plants along with other crops would reduce weed and pest population due to the allelopathic properties of these plants. Cultivation of medicinal and aromatic plants has several advantages like higher net returns per area unit, low incidence of pests and diseases, improvement of degraded and marginal soils, longer shelf life of final products and foreign exchange earning potential. Black seed (*Nigella sativa* L.) is a widely used medicinal plant throughout the world which belongs to Ranunculaceae family. This experiment was carried out to evaluate physiological growth indices, yield and yield components of black seed affected by nitrogen rate and plant density under Mashhad climate conditions.

Materials and Methods

This experiment was conducted at the Agricultural Research Station of the Ferdowsi University of Mashhad, located in 10 km south-east of Mashhad (59° 36′ East, 36° 15′ N, 985 meters above sea level) during the 2016-2017 growing season. The experiment was conducted as factorial layout based on a randomized complete block design with two factors and four replications. Treatments were four plant densities (60, 120, 180 and 240 plants.m^{-2}) and four nitrogen rates (0, 50, 100 and 150 kg N per ha as urea). Studied traits were leaf area index (LAI), dry matter accumulation (DM), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR), plant height, yield components (such as number of branches per plant, number of follicles per plant, number of seeds per follicle and 1000-seed weigh), seed yield, straw yield and biological yield. SAS software was used to analyze the data and the comparison of means was done using Duncan multiple range test at 5% probability level. Charts were also drawn using Excel software.

Results and Discussion

The results indicated that the plant density and nitrogen rates affects leaf area index (LAI), dry matter accumulation (DM), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR), plant height, yield components (such as number of branches per plant, number of follicles per plant, number of seeds per follicle and 1000-seed weigh), seed yield, straw yield and biological yield of black seed. The highest and lowest leaf area index was observed in 100 kg N and control, respectively. The fast period of vegetative growth, leaf area index and dry matter accumulation were observed at flowering stage with a small decline afterwards until physiological maturity. Also, crop growth rate reached to its peak in flowering stage followed by a decreasing trend afterwards. In addition, number of branches decreased sharply at high densities. The highest seed yield was observed from 150 kg N per ha (895.7 kg.ha^{-1}) and the lowest was for control (689.9 kg.ha^{-1}). Biological yield

---

1- Assisstant Professor, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.
2- MSc. in Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad Mashhad, Iran.
(*- Corresponding Author Email: a.filabi@rifst.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i4.75617

had high correlation with straw yield (r^2=0.99) and seed yield (r^2=0.97).

Conclusion

Agronomic management strategies had significantly effect on growth, yield, and yield components of black seed. Generally, plant density and nitrogen rates are two effective techniques for agronomic management of the medicinal plants. Further, investigations on quantity and quality of medicinal plants including black seed in association with agronomic operations will provide additional information.

Keywords: Leaf area index, Number of follicles per plant, Seed yield, Straw yield